



## **GMFS – Global Monitoring for Food Security**

Earth Watch GMES Services Element (GSE)

ESA ESRIN/Contract No. 19402/05/I-LG

---

*"To provide earth observation based services and encourage partnerships in monitoring Global Food Security and related environmental processes, by concerting efforts to bring data and information providers together, in order to assist stakeholders, nations and international organizations to better implement their policies towards sustainable development"*

# **Service Operations Report SENEGAL 2007**

Deliverable Reference: **S6**

Author(s): **Josefien Delrue, Massimo Barbieri, Bernard Tychon, Louis Kouadio, Antoine Denis**

Version: **5.0**

Date: **17 March 2008**

## **Signatures**

Author(s) : Josefien Delrue, VITO  
Massimo Barbieri, SARMAP  
Bernard Tychon, ULG  
Louis Kouadio, ULG  
Antoine Denis, ULG

Reviewer(s) : Patrizio Vignaroli, FCS  
Lieven Bydekerke, VITO

Approver(s) :

Issuing authority : VITO

## **Change Record**

Release	Date	Pages	Description of Change	Editor(s)/Reviewers(s)
5.0	17.03.2008		First version	B. Tychon, ULG L. Kouadio, ULG A. Denis, ULG M. Barbieri, Sarmap J. Delrue, VITO

## List of acronyms

AGRHYMET	Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle
AMS	AgroMetShell
AP	Agricultural Productivity
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BA	Bassin Arachidier
CA	Cultivated Area
CED	Crop Emergence Date
CFSAM	Crop and Food Supply Assessment Mission
CILSS	Comité Inter-états pour la Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CSE	Centre de Suivi Ecologique
CSSWB	Crop Specific Soil Water Balance
CY	Crop Yield
DAPS	Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques
DDS	Data Dissemination Service
DMP	Dry Matter Productivity
EC	European Commission
EO	Earth Observation
EoC	Extent of Cultivation
EOS	Earth Observing System
ESA	European Space Agency
ETAI,	ETAv, Evapotranspiration à différents stades phénologiques (respectivement à la phase initiale,
ETAf,	ETAr, phase végétative, floraison, récolte) et sa valeur totale en fin de cycle
ETAt	
ETP	Evapotranspiration potentielle
EU	European Union
EVI	Enhanced Vegetation Index
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations
fAPAR	Fraction of Absorber Photosynthetically Active Radiation
FEWS	Famine Early Warning System
FR	Full Resolution
GIEWS	Global Information and Early Warning System
GLC2000	Global LandCover for the year 2000
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GMFS	Global Monitoring for Food Security
GS	Growing Season
GSE	GMES Service Element
GTP	Groupe de Travail Pluridisciplinaire
Horz	Peak – Sdat
IndexNormal,	Indices de satisfaction en eau en fin de cycle
IndexLatest	
JRC	Joint Research Institute
MAM	Modèle agrométéorologique
MARS	Monitoring Agriculture with Remote Sensing
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument
MIR	Middle Infrared
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MR	Medium Resolution
MSG	Meteosat Second Generation
MVGI	MERIS Global Vegetation Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVI_I,	Cumul des valeurs de NDVI respectivement au stade Initiation, Végétation, Floraison-
NDVI_D,	fructification, et au stade de maturation.
NDVI_MS,	
NDVI_L	
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

PAR	Photosynthetic Active Radiation
Peak	Décade à laquelle le NDVI atteint son maximum
Pluvio_I,	Cumul pluviométrique respectivement au stade Initiation, Végétation, Floraison-
Pluvio_D,	fructification, et au stade de maturation
Pluvio_MS,	
Pluvio_L	
Pval	Valeur du NDVI à Peak
R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation
R <sup>2</sup> cv	Coefficient de corrélation en validation croisée
RMSE	Root Mean Square Error (erreur quadratique moyenne)
RR	Reduced Resolution
RRSU	Regional Remote Sensing Unit
SADC	Southern Africa Development Community
Sdat	Décade de début de saison agricole
SPOT	Système Probatoire de la Terre
Sval	Valeur du NDVI à Sdat
TM	Thematic Mapper
TOAVI	Top of Atmosphere Vegetation Index
UNEP	United Nations Environment Programme
USAID	United States Agency for International Development
VAM	Vulnerability Assessment and Mapping
Vert	Pval – Sval
VGT	Vegetation (sensor on board SPOT 4/5)
VPI	Vegetation Productivity Indicator
WDEFi, WDEFv,	Déficit en eau à différents stades phénologiques (respectivement à la phase initiale, phase
WDEFf, WDEFr,	végétative, floraison, récolte) et sa valeur totale en fin de cycle
WDEFt	
WEXi, WEXv,	Excès en eau à différents stades phénologiques (respectivement à la phase initiale, phase
WEXf, WEXr,	végétative, floraison, récolte) et sa valeur totale en fin de cycle
WEXT	
WFP	World Food Programme
WHC	Water Holding Capacity (capacité de teneur en eau)
WP	Work Package

## **Contents**

<b>1. EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>6</b>
<b>2. INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>3. SERVICES.....</b>	<b>8</b>
3.1. SERVICES DELIVERED AND SERVICES AGREED IN THE SLA .....	8
3.2. DATA ACQUISITIONS & PROCUREMENTS .....	8
3.3. DELIVERY MECHANISM .....	9
3.4. ANOMALIES AND PROBLEMS .....	9
3.5. CUSTOMER COMPLAINTS & RESOLUTION .....	9
<b>4. EXTERNAL &amp; COMMON INFRASTRUCTURE.....</b>	<b>9</b>
4.1. GENERAL .....	9
4.2. POTENTIAL IMPROVEMENTS .....	10
<b>5. STANDARDS .....</b>	<b>10</b>
<b>ANNEX I: EARLY WARNING SERVICES.....</b>	<b>11</b>
<b>ANNEX II: AGRICULTURAL MAPPING PRODUCTS AT LOCAL SCALE.....</b>	<b>12</b>
<b>ANNEX IV: CALIBRATION FIELD SURVEY (IN FRENCH) .....</b>	<b>30</b>
<b>ANNEX V: YIELD FORECASTS FOR SENEGAL, SEASON 2007 (IN FRENCH).....</b>	<b>34</b>

## EXECUTIVE SUMMARY

GMFS (Global Monitoring for Food Security) is a GMES Service Element (GSE) project, part of the ESA contribution to the EU / ESA GMES (Global Monitoring for Environment and Security) Programme. GMFS aims to establish an earth observation based operational service for crop monitoring to support food security decision makers and EU policy objectives.

The aim of this document, as expressed in the statement of work is to:

- *Evaluate the operations planned versus the services agreed*
- *Review the external infrastructure*
- *Review issues and experiences with relation to adopted standards*

The aim of the document is to give a complete report of all activities executed by the service partners to deliver agricultural monitoring services to the Centre de Suivi Ecologique (CSE) in Senegal for the 2007 growing season.

At the moment when this report is produced only the EoC product, The DMP product and part of the crop yield product have been delivered to the CSE. Other product are still to be delivered, an exception is made for the CEP product for Senegal 2007. During progress meeting 8 at Frascati, Italy it has been decided that this product was more a research product than a operational service and that it will not be delivered to the end users.

The data has been delivered via FTP, email, DDS or direct handover during field visits to CSE.

**Deleted:** For the 2007 growing season it had been agreed with CSE that GMFS delivers the following services and products:

**Product Name**

... [1]

## 1. INTRODUCTION

GMFS (Global Monitoring for Food Security) is a GMES Service Element (GSE) project, part of the ESA contribution to the EU / ESA GMES (Global Monitoring for Environment and Security) Programme. GMFS aims to establish an earth observation based operational service for crop monitoring to support food security decision makers and EU policy objectives.

The aim of this document, as expressed in the statement of work is to:

- *Evaluate the operations planned versus the services agreed*
- *Review the external infrastructure*
- *Review issues and experiences with relation to adopted standards*

The aim of the document is to give a complete report of all activities executed by the service partners to deliver agricultural monitoring services to the Centre de Suivi Ecologique (CSE) in Senegal for the 2007 growing season.

The GMFS service network currently consists of 12 European partners with different fields of expertise. These partners agree in principle to the GMFS "Open Partnership Protocol" (ESA deliverable S4), and are committed to jointly undertake activities and provide services in support of Food Security Early Warning Systems.

GMFS provides four different types of services which are: (i) Early Warning Activities; (ii) Agricultural mapping and (iii) Crop yield assessments, (iv) support to FAO/WFP Crop and Food Supply Assessment Missions (CFSAM).

Chapter 1 – 5 give a synoptic and general overview of the services delivered with respect to what was agreed in the SLA, standards, delivery mechanisms, data acquisitions and infrastructure. Technical and operational details are provided in ANNEX I - IV.

Deleted: -----Page Break-----  
Services agreed in the sla

## 2. SERVICES

### 2.1. Services delivered and services agreed in the SLA

Within the SLA the following Products were agreed upon

Product Name	Description	Coverage	Frequency	Code
<u>Vegetation Productivity Indicator (VPI)</u>	<u>Current assessment of vegetation/crop state based on to historical time series</u>	<u>Senegal</u>	<u>10-daily</u>	<u>VPI_SEN_07</u>
<u>Dry Matter Productivity (DMP)</u>	<u>Non-water limited Dry matter productivity integrates meteo data and is a measure for standing biomass. Image data used is MERIS RR or FR</u>	<u>Senegal</u>	<u>10-daily / monthly</u>	<u>DMP_SEN_07</u>
<u>Crop emergence date</u>	<u>Emergence of crops/vegetation, based on SAR data</u>	<u>Senegal</u>	<u>August 2007</u>	<u>CED_SEN_07</u>
<u>Cultivated area</u>	<u>Cultivated area over selected, localized areas based on SAR data</u>	<u>Local</u>	<u>December 2007</u>	<u>CA_SEN_07</u>
<u>Extent of cultivation</u>	<u>Extent of the cultivated areas at country level, based on SAR and optical data.</u>	<u>Senegal</u>	<u>December 2007</u>	<u>EoC_SEN_07</u>
<u>Agricultural Productivity</u>	<u>Qualitative assessment of potential productivity in the cultivated areas (High – low productivity)</u>	<u>Senegal</u>	<u>December 2007</u>	<u>AP_SEN_07</u>
<u>Crop Yield</u>	<u>Estimated and forecasted crop yield by main crop type at country level</u>	<u>Senegal</u>	<u>Forecast: 2 to 3 times from August 2007</u>	<u>CY_SEN_07</u>

Deleted: Product Name ... [2]  
Deleted: is  
Deleted:  
Deleted: ¶  
Formatted: English (U.S.)  
Formatted Table  
Deleted: Service not included in the SLA¶

Of this list the EoC product, The DMP product and part of the crop yield product have been delivered to the CSE. Other product are still to be delivered, an exception is made for the CEP and AP product for Senegal 2007. During progress meeting 8 at Frascati, Italy it has been decided that the CEP product was more a research product than a operational service and that it will not be delivered to the end users. The AP is calculated from the VPI and EoC. Since the latter are part of the delivered services, the user can easily compute the AP. Therefore the AP is no longer provided by GMFS to the user.

Delivery dates for the products produced once per growing season are listed below

Product Name	Delivery date
<u>Crop emergence date</u>	<u>No delivery planned</u>
<u>Cultivated area</u>	<u>5 March 2008</u>
<u>Extent of cultivation</u>	<u>19 December 2007</u>
<u>Agricultural Productivity</u>	<u>No delivery planned</u>
<u>Crop Yield</u>	<u>05 February 2008</u>

Next to these services the GMFS partnership provided the CSE with nation wide monthly composites of fAPAR images based on MERIS FR. The partnership uses these image in the up scaling process from CA to EoC. CSE is provided with these images for evaluation and testing purposes.

### 2.2. Data acquisitions & procurements

This section summarizes the data used for generating the above listed products. In the appendices the detailed list of data used can be found for each individual service line. The following data was procured:



- ASAR AP Data [\(41 scenes\)](#)
- MERIS FR data [\(6 monthly fAPAR composites used, each composite is produced from around 18 MERIS FR scenes\)](#)
- SPOT-VEGETATION
- SPOT-4 data [\(12 scenes used\)](#)
- Meteo data
- Fieldwork data
- NOAA GAC data, obtained from FAO

The meteo data was provided in kind by the Senegal Meteorological Department (DMN) and CSE.

ULg / CSE carried out a field campaign between 2 and 19 September 2007 (see Annex IV). The validation field survey carried out by DAPS upon request of GMFS during the months of August and September is described in the validation report.

Data ordering responsible partners are:

- ASAR data: SARMAP
- MERIS FR data SPOT4 data orders: VITO
- Fieldwork: ULG

ASAR data was ordered using the bulk ordering mechanism developed by ESA to provide GMFS with the necessary EO data.

For MERIS FR ESA created an FTP site where the MERIS FR L1 full scenes can be downloaded

### 2.3. Delivery mechanism

Three main delivery mechanisms have been used:

- email
- ftp site (<ftp://ftp.gmfs.info>)
- personal hand over during field visits
- DDS

### 2.4. Anomalies and problems

At the time of writing the report the CA (cultivated area) and part of the CY (crop yield) are not yet delivered to the end user. Products will be delivered January 2008.

### 2.5. Customer complaints & resolution

During PM8 in Frascati Italy it was mentioned that VPI data was sometimes arriving late at CSE. In the mean while VPI processing chain has been updated and improved, so that VPI data are received earlier at CSE.

## 3. EXTERNAL & COMMON INFRASTRUCTURE

### 3.1. General

The infrastructure elements have been proven adapted to the services delivered. No major problems have been experienced. From the side of CSE no problems were experienced in downloading data of a few megabytes, which is the maximum size for most products produced under GMFS. Larger files are also handed over on personal visits of GMFS partners to CSE

The VPI images are equally provided to CSE through the DDS system installed at the centre (in collaboration with the ESIT project).

### **3.2. Potential improvements**

N/A.

## **4. STANDARDS**

The GMFS service network maintains an in-house database which is standardized in the following matter:

- projection: geographic, WGS84 or UTM 28 N
- image formats: raw binary, geoTIFF
- GIS data formats: Shapefiles
- Maps: PDF files

Methodologies, algorithms, data analysis and models are extensively described in the appendices..

## ANNEX I: EARLY WARNING SERVICES

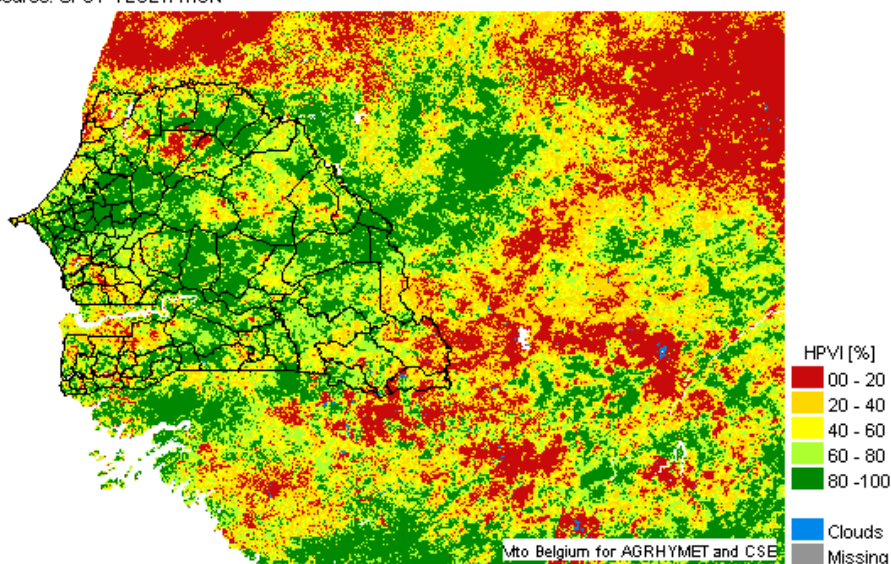
The following early warning products have been delivered to CSE: i. Vegetation Productivity Indicator; ii. the Dry Matter Productivity Indicator

### Delivery of the VPI indicator

VPI's are produced and delivered in a completely automatic way. The user is notified by email after the product has been produced. The email contains a quicklook image of the product and the image itself is available for download from the ftp server at <ftp://ftp.gmfs.info/SEN/VPI>.

The VPI images are provided in flat binary format along with an IDRISI and ENVI header. In case of Senegal the images are provided in the UTM 28 N projection system. The VPI is also sent through the DDS system and can be received locally. This is done in synergy with the ESIT project. The VPI images have been delivered starting from dekad 15 and is continued throughout the year.

Region: Senegal  
 Period: May, 2006, Dekad 3/3  
 Theme: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)  
 Historical Probability VI (HPVI = VPI)  
 Source: SPOT-VEGETATION



### Delivery of the DMP indicator

DMP indicators are based upon MERIS FR images and have been produced on a monthly basis instead of a ten-daily basis. The images itself are made available through the GMFS ftp site at <ftp://ftp.gmfs.info/SEN/2007>.

## ANNEX II: AGRICULTURAL MAPPING PRODUCTS AT LOCAL SCALE

### Methodology

Figure 1 illustrates the methodology applied. Two complementary parts should be distinguished, namely the optical and the SAR one. Key features derived from these independent sources are integrated in a rule based classifier. While Optical features are primarily related to spectral based behaviour inferred from single acquisitions (in the best case from bi-temporal acquisitions enabling also the generation of thematic classes), SAR time-series allow the derivation of temporal based features, which are characteristics for cultivated areas.

Spectral and temporal based features and spectral classes constitute the fundamental input parameters (which may vary from country to country) of the rule based classifier.

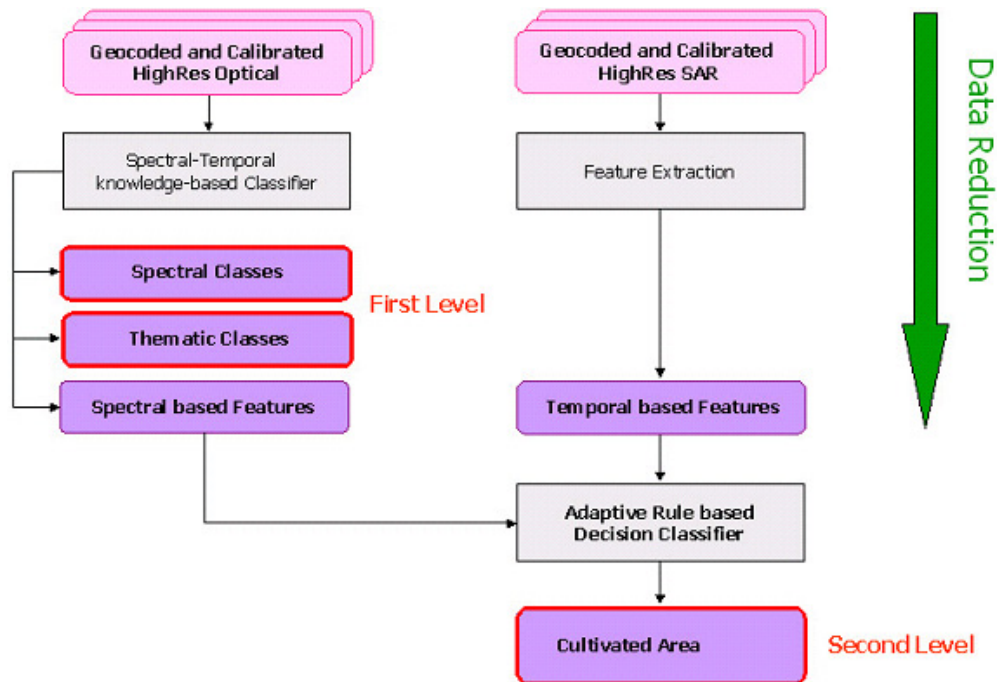


Figure 1: Overview of the methodology for the CA map generation.

## Outcome

Figures 2 to 5 give an overview of different products generated. The final Crop Area map is illustrated in Figure 4.

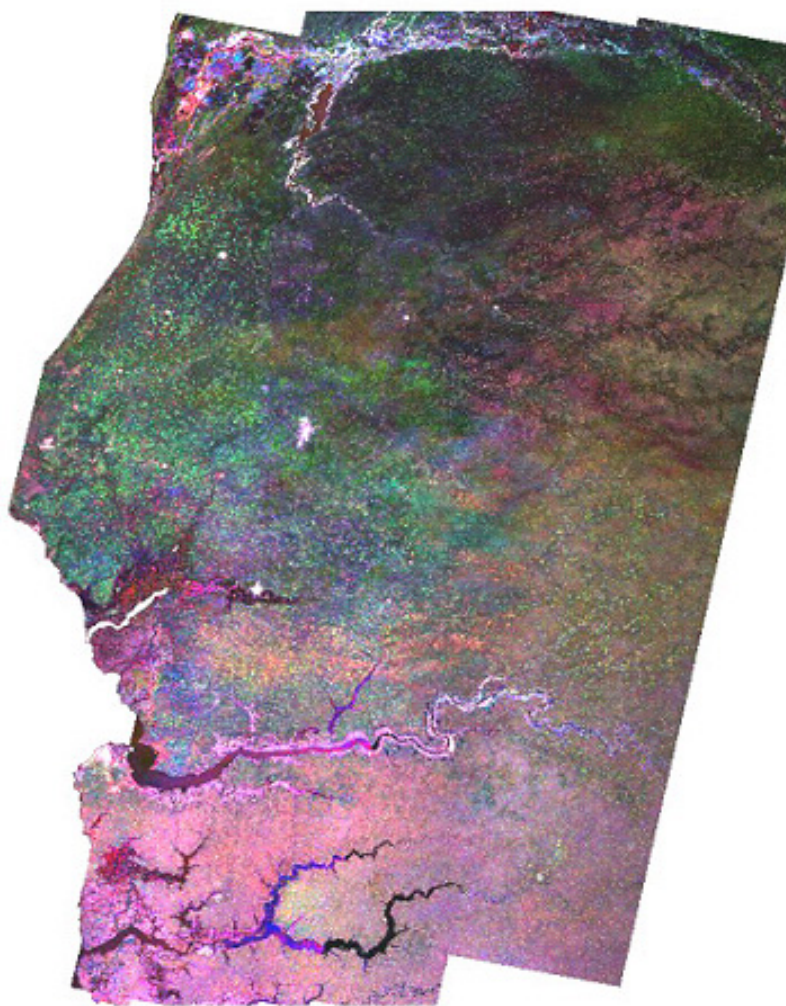


Figure 2: ASAR HH multi-temporal mosaic (red: August 2007 - green: September 2007 - blue: October 2007).



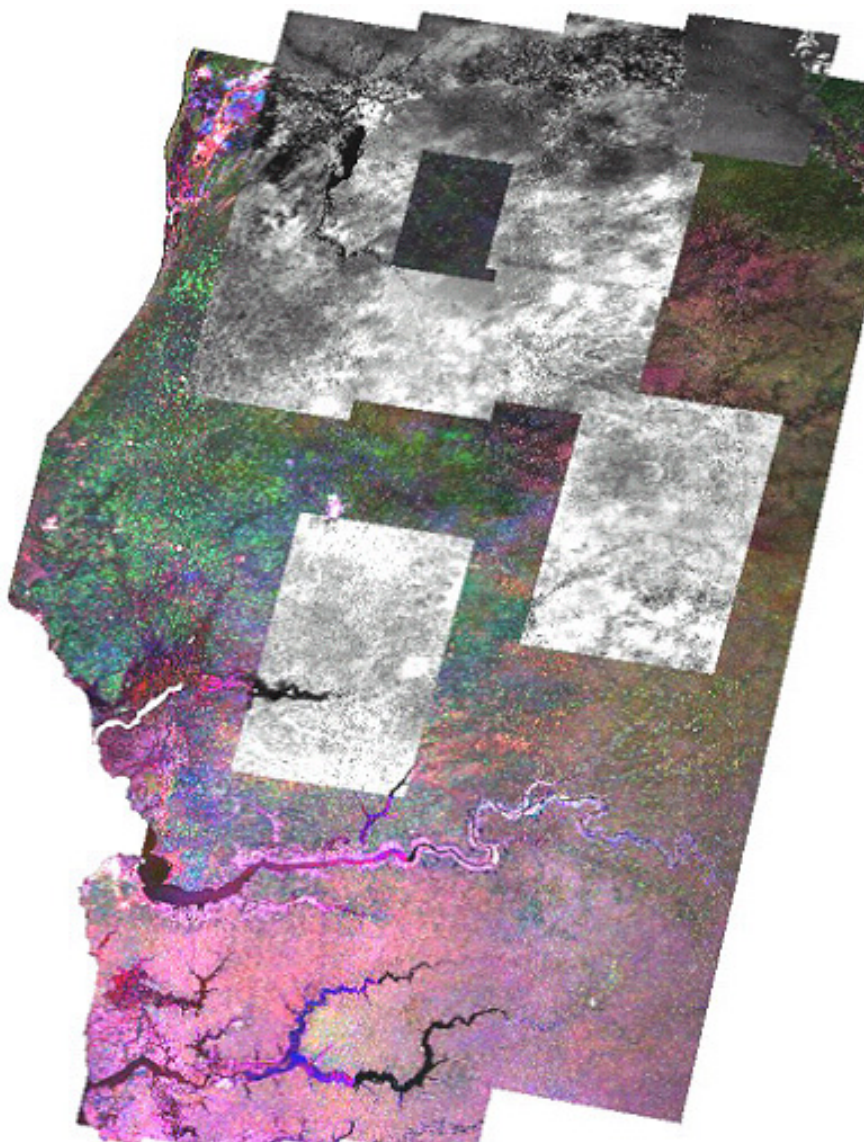


Figure 3: Greenness index (b/w frames draped onto the ASAR multi-temporal mosaic) generated from the available Spot 2007 – August and September - acquisitions.

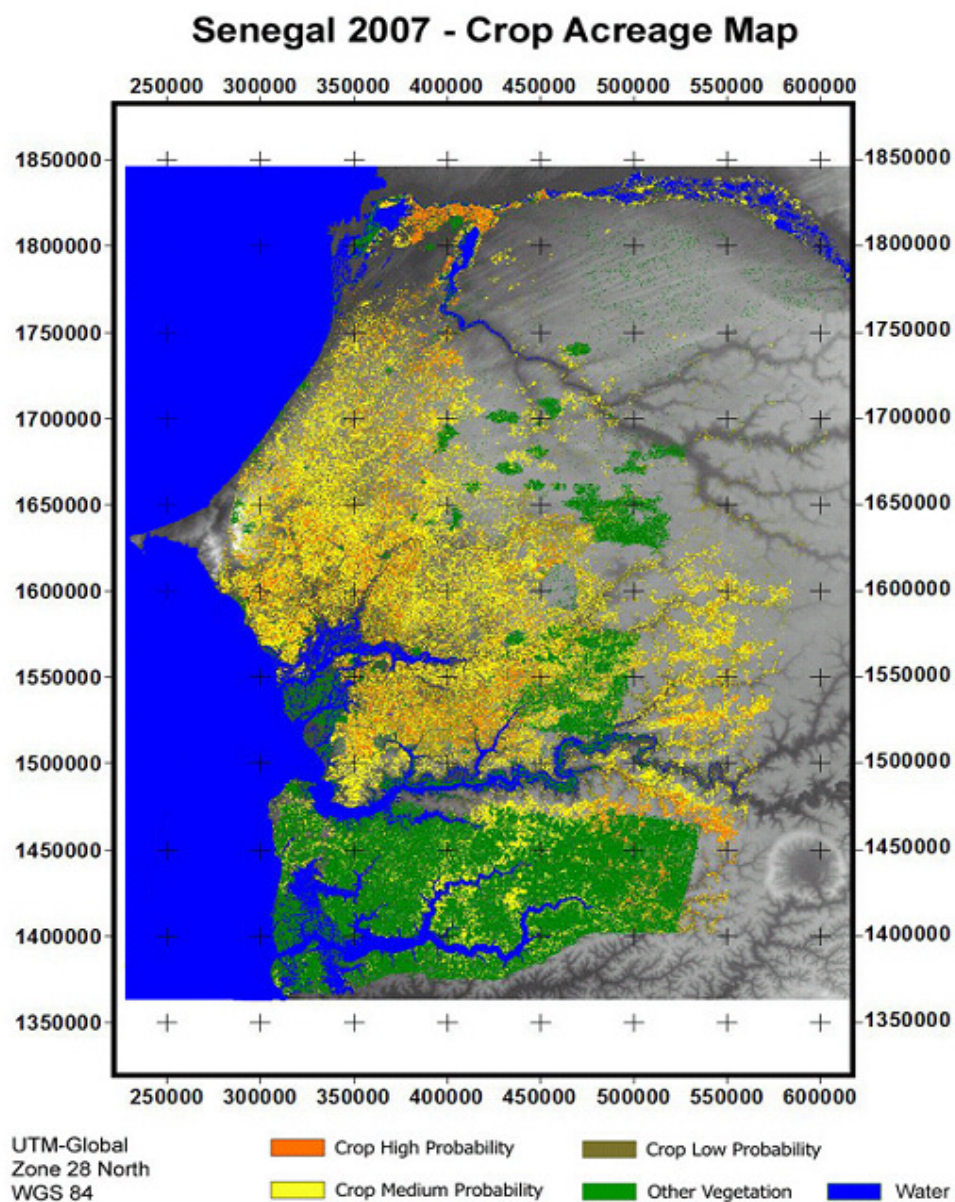


Figure 4: Final Crop Acreage (CA) map.



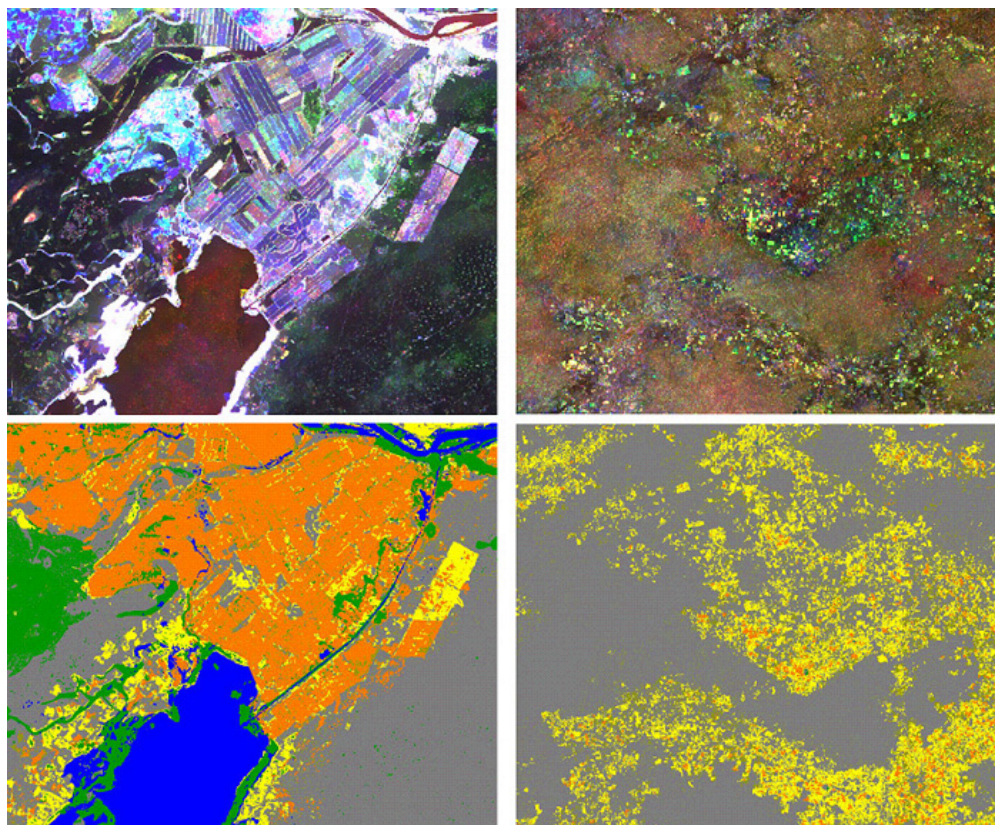


Figure 5: Detailed view of the multi-temporal ASAR composite (top images) and the corresponding Crop Acreage map (bottom images).



The CA products is derived from the combination of:

- ◆ ASAR AP amplitude images (acquisitions spanning from February to December 2007)
- ◆ Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ multispectral archive images acquired between year 1999 and year 2000.
- ◆ Crop Acreage Map of year 2006.
- ◆ Spot acquisitions of year 2007.

The CA product contains the following classes:

ID code	Class name
0	Unclassified pixels
1	Cultivated area (High Probability)
2	Cultivated area (Medium Probability)
3	Cultivated area (Low Probability)
4	Other Vegetation
5	Water

The High Probability class (ID 1) corresponds to those areas classified as crop in the previous season, which have confirmed the same behaviour in the current year.

The Medium Probability class (ID 2) corresponds to those areas, which had not been classified as crop in the previous season. These areas are classified as crop, for the first time, in the current year.

The Low Probability class (ID 3) corresponds to those areas classified as crop in the previous season, which have not confirmed the same behaviour in the current year.

## **ANNEX III: AGRICULTURAL MAPPING PRODUCTS AT NATIONAL SCALE**

### **Introduction**

This document describes the procedures and methods used to generate the agricultural mapping products for the users in Senegal. The Extent of Cultivation Product (EoC) that has been produced, has been delivered to the CSE, user of the product, and the GMFS regional coordinator for further validation. The delivery of the products is part of the Service Level Agreement concluded between GMFS (VITO) and CSE.

The activities with respect to the EoC product have taken place from July 2007 to December 2007 in the following sequence: i. Selection and ordering of high resolution SPOT-4 images over the growing season (July 2007); ii. Collection of field data by ULg and the local partner, CSE (September 2007); iii. Analysis of fieldwork data and geocoding of SPOT imagery (September 2007); iv. Hard classification of SPOT imagery (October 2007); Sub-pixel classification of MERIS time series and generation of the EoC product (December 2007).

In a first step, adequate high resolution images, preferably SPOT-4, were selected and ordered via Eolisa. It was attempted to obtain at least two acquisitions per scene, in order to try a crop specific classification. Though, due to the abundant cloud coverage over the greater part of Senegal until August, only for a few scenes in the North multiple images were obtained. For the South (Casamance and Oriental Zone) there are even no suitable images for the 2007 growing season at all.

Chapter 2 describes the procedures followed for the collection of ground observations.

Chapter 3 describes the analysis of the SPOT data and chapter 4 describes the procedures followed to obtain the revised EoC products.

## Field survey

The field survey in Senegal was conducted from 2 till 19 September 2007 and was carried out by mr. Antoine Denis, research assistant at the University of Liege, and mr. Gora Beye, regional representative of GMFS in Senegal. The survey consisted of multiple 'transects', whereby observations are recorded left and right from the track when driving through the landscape. The recordings were entered into an access data base with automatic time registration. Frequently pictures were taken. The synchronisation between the access data base, the GPS and the photo camera allowed to join all data seamlessly together.

Heeft Antoine niet enkel links van de weg gekeken, misschien zijn aanbevelingen voor de verbetering van het veldwerk ook vermelden.

The survey resulted in a database of 10 GPS tracks, 10 700 observations and 2500 digital photos.

Figure 2.1 indicates the area covered by the survey.

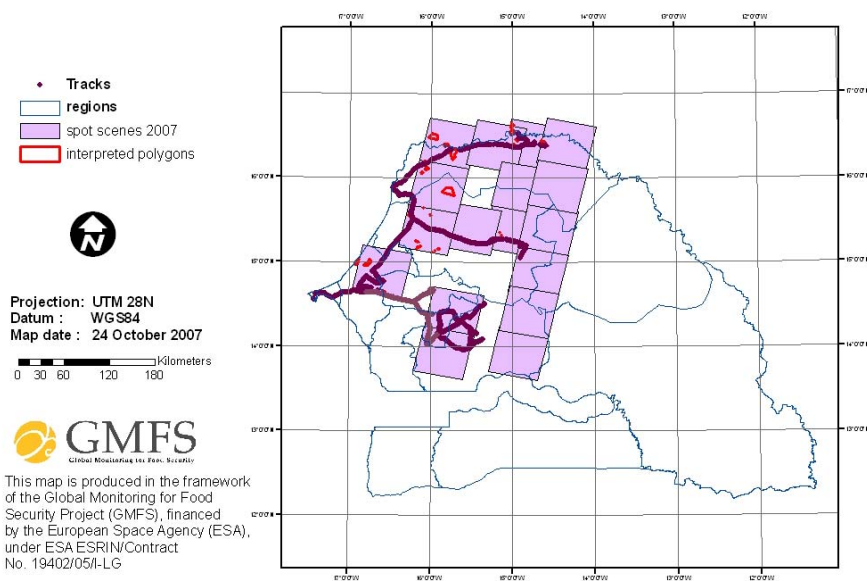


Figure 2.1: Location of the survey tracks in Senegal and the overlap with the SPOT images.

During the field survey, 60 polygons are drawn on landscape elements in the SPOT images that are difficult to interpret from the image without specific knowledge and which could not be visited within the timeframe of the survey. Gora Beye identified the most suitable class for these polygons.

Table 2.1 gives the land use classes that were taken into account for the fieldwork.

Table 2.1: Land use classes distinguished during the fieldwork.

Cultivated land	cereals	Maize Millet Sorghum
	Other crops	Peanut Manioc Niébé Beref Bissap Pastèque Other crops
	Irrigated land	Sugar Cane Rice
	Orchard Plantation Fallow	
Dwelling	Rural Urban	
Water	River Lake Marsh	
Vegetation	Aquatic vegetation Wooded land	
	Savannah	Bush savannah Tree savannah
	Forest	
Bare soil		

## HR classification

The HR hard classification is based on twelve SPOT HR images, spread over four of out of six agro-ecological zones: Peanut Basin, Silvo-Pastoral Zone, Niayes and Senegal River Valley. For the remaining zones, Casamance and Oriental Zone, there were no fieldwork data nor SPOT images available.

The SPOT HR images received from ESA, were level L1B images, dating from the middle of the growing season. Table 3.1 lists the acquisition dates per scene.

They were correctly geocoded by co-registration with historical Landsat ETM images. (Source of these data sets was the Global land Cover Facility [www.landcover.org](http://www.landcover.org)). This operation was executed with the automatic registration tool IG-ART, developed by IncGEO, and with the georeferencing tool of ArcGIS.

Table 3.1: Acquisition dates for the SPOT scenes used in the hard classification

Column	Row	Acquisition August	Acquisition September	Overlap with fieldwork
21	320	11/08/2007		Yes
22	318	01/08/2007	22/09/2007	No
22	319	01/08/2007	22/09/2007	Yes
22	317	01/08/2007	22/09/2007	Yes
23	322		22/09/2007	Yes
23	321		22/09/2007	Yes
23	319	22/08/2007		Yes
24	318		22/09/2007	No
24	319	22/08/2007		Yes
24	317		12/09/2007	Yes
25	321		22/09/2007	No
25	320		22/09/2007	No

Eight of the twelve SPOT images were sufficiently covered by the fieldwork tracks. Sixty percent of the fieldwork data that fell within these images was used to calibrate the hard classification, the remainder was used later on to validate the classification result. If a class was not represented by a sufficient amount of pixels, data from the photo-interpreted polygons was also used.

Furthermore, four SPOT images outside the fieldwork region were classified merely based on photo-interpretation. This ensured that all prominent land use types within the agro-ecological zone are covered by the hard classification.

Seven classes were distinguished, which were derived from the list of classes in the fieldwork data set (Table 2.1):

1. agriculture
2. irrigated crops
3. vegetation
4. urban
5. water
6. water vegetation/river basin
7. bare soil

The classification was performed three times: by means of a neural network and maximum likelihood in GLIMPSE (GLobal Imaging Processing SoftwarE), which is developed by VITO, and by means of a support vector machine in ENVI. The results were compared and for each scene the most accurate classification was retained.

Later on the 'clump classes' post-classification treatment of ENVI was applied. This tool executes two morphological set transformations: a dilation followed by an erosion. The result of this action is fusion of narrow breaks and elimination of isolated pixels within a homogenous area of one class.

Figure 3.1 shows the result of the hard classification.

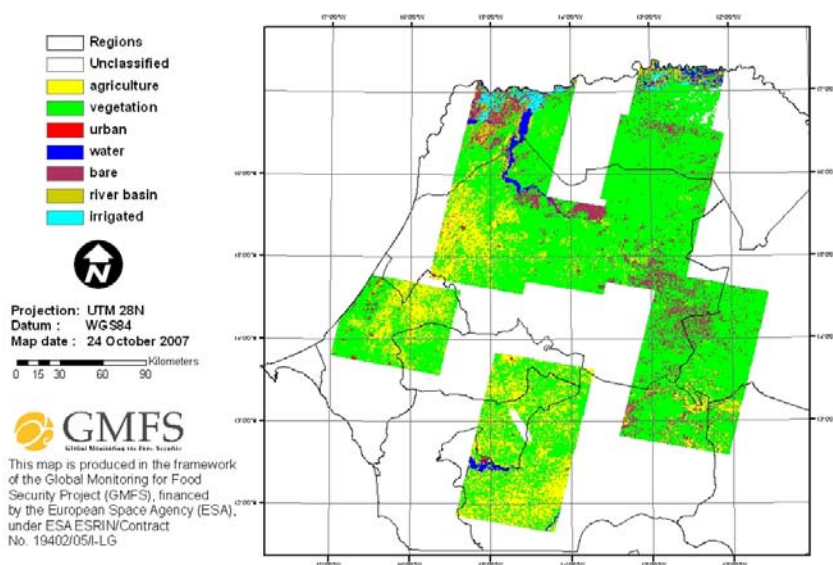


Figure 3.1: Classification of the SPOT images over Senegal

The output of the classification was validated using the remaining 40% of fieldwork data that was not used to calibrate the hard classification. Table 3.2 gives the confusion matrix of the hard classification with all classes, in table 3.3 only agriculture and non-agriculture is considered.

The producer's and user's accuracy of cultivated land is fairly good. The low accuracy for urban and water can be explained by the size of the observed features. Urban often concerns just a couple of dwellings, water is sometimes merely a pool. Though, large cities and water bodies are correctly classified. The distinction between bare soil and savannah is not very clear. Savannah may have very few vegetation cover and bare soils may be sparsely vegetated.

When all non-agricultural classes are considered as one class (table 3.3), the accuracy increases with 9%.

Table 3.2: Confusion matrix and User's and Producer's accuracy for all classes of the hard classified image.

Overall accuracy	65.43% (3836/5863)
Kappa coefficient	0.45

Ground truth (pixels)							
Class	Urban	Agriculture	Irrigated	Bare	Water	Vegetation	Total
Urban	275	13	0	0	0	8	296
Agriculture	78	1880	0	20	12	433	2423
Irrigated	3	0	72	0	7	19	101
Bare	3	23	5	102	0	73	206
Water	19	0	0	0	13	1	33
Vegetation	224	884	1	188	13	1494	2804
Total	602	2800	78	310	45	2028	5863

Class	Prod. Acc. (%)	User Acc. (%)
Urban	45.68	92.91
<u>Agriculture</u>	<u>67.14</u>	<u>77.59</u>
Irrigated	92.31	71.29
Bare	32.90	49.51
Water	28.89	39.39
Vegetation	73.67	53.28

Table 3.3: Confusion matrix and User's and Producer's accuracy for agriculture and non-agriculture.

Overall accuracy	74.14% (4365/5887)
Kappa coefficient	0.48

Ground truth (pixels)			
Class	Other	Agriculture	Total
Other	2409	923	3332
Agriculture	599	1956	2555
Total	3008	2879	5887

	Prod. Acc.	User Acc.
Class	(%)	(%)
Other	80.09	72.30
Agriculture	67.94	76.56

## Extent of cultivation (EoC)

### General

The Extent of Cultivation (EoC) product intends to give a qualitative indication of cropped areas for a given growing season. The EoC product is repetitive, as it is generated every growing season. It is based upon multi-temporal medium resolution fAPAR images (pixel size 300m), the CA product, multi-temporal characteristics of vegetation, and specific changes of agricultural land during the growing season (field clearance, sowing, senescence, harvesting, etc.). This requires repetitive acquisitions of satellite data during the growing season, typically once every 10 days. The extent of cultivation product covers large areas, potentially full countries.

### fAPAR images

This section describes how the fAPAR images, main input to the classification algorithms, are generated. The fAPAR images are based upon the MERIS FR (Full resolution) sensor on board of ENVISAT. The data acquisition cycle is > 3 days. MERIS FR Level 1 input images were ordered in bulk for all regions of interest of GMFS and images are directly retrieved from a dedicated FTP server at ESA.

Based on the method of Gobron et al, fAPAR values are calculated for every retrieved scene. This is done using the blue, red and NIR bands from the original MERIS FR product. The calculated fAPAR values are then projected into a 250 meter grid and stored in ENVI format instead of the received N1 format. For every decade and for every month composites are made using a maximum value compositing step (selecting for the dedicated period the highest fAPAR value per pixel). The end result is an fAPAR image (undimensional with values between 0 and 1 in ENVI format, Geographic WGS84).

Figure 10 illustrates the overall processing scheme.



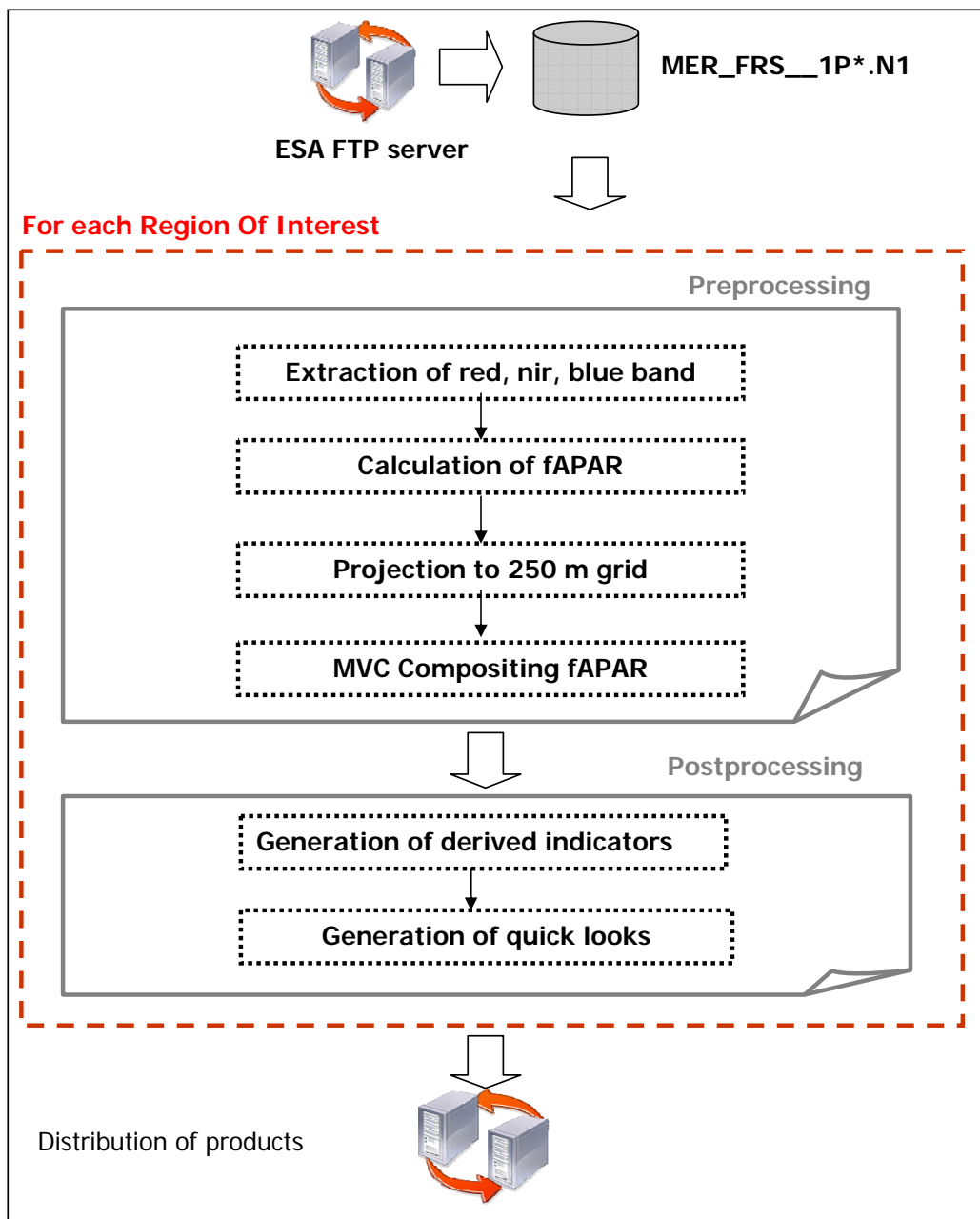


Figure 10: Processing scheme, fAPAR input products

## Methodology

The Extend of Cultivation (EoC) product for the growing season of 2007 for Senegal is based upon MR optical images, 30 days MERIS fAPAR composites, and the HR classification from the SPOT images.

Figure 4.2 shows the steps followed for the generation of the EoC product. In a first step the high resolution classification is transformed to 'True Area Fraction Images', one for each class, with the same resolution as the MERIS fAPAR images (250m). The pixel of an AFI of a certain class contains the fraction of that class within the pixel. There are as many AFI's as there are classes under consideration, i.e. conform the SPOT-classification.

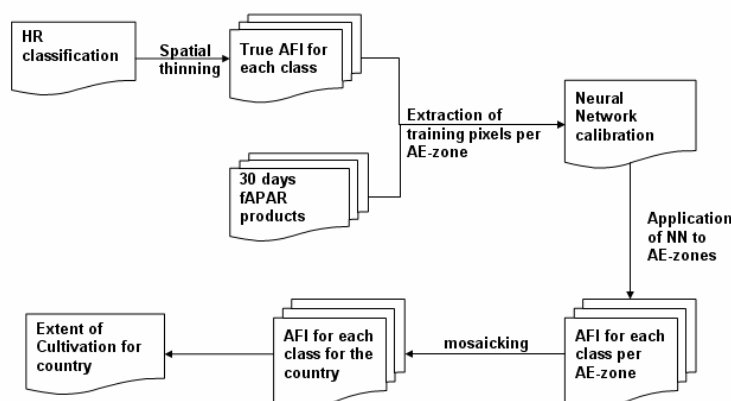


Figure 4.2: Processing sequence of the development of the EoC product.

Then the true AFIs were split in 3 zones, with differing soil suitability, climatic characteristics and vegetation types. The first zone is situated in the north of Senegal and exists of the Senegal river valley and the silvo-pastoral agro-ecological zone (AE-zone), the second zone is the central located Peanut basin and the third zone is the Niayes AE-zone, wich is located along the coast. The Casamance and the Oriental AE-zones are not covered by the true AFIs.

For each of the three zones, a neural network was trained with a time series of monthly fAPAR products as input and the AFIs of the SPOT images as output. The northern zone was trained with fAPAR images from May till September 2007 and the central and coastal zone, where the rain season starts earlier, with fAPAR images from April till September 2007. Once trained, the networks were applied on the respective zones. For the AE-zones for which no network was trained, the network was selected that represented best their agro-ecological characteristics. For Casamance, which contains an extension of the Peanut Basin, the network of the Peanut Basin was used. For the sparsely cultivated oriental zone the Silvo-Pastoral network was found to be most suitable.

The software used for the processing is GLIMPSE (Global Imaging Processing SoftwarE), which is developed by VITO.

Subsequently the obtained AFI's were merged to obtain a nationwide AFI's for each class. To create the EoC, for each pixel the dominant class was selected.

## Result and Discussion

Two maps were generated from the outputs of the sub-pixel classification algorithm:

- Figure 4.3 is the Area Fraction Image for cultivated area in Senegal. Pixels with a high proportion of cultivated area are shown in bright green, a low proportion of cultivated area in bright red. General agricultural areas can easily be distinguished in such a map, e.g. the Peanut Basin in the centre of the country. It shows more detail than a classification map, like Figure 4.4, since also parts with no dominance of agriculture can be distinguished while this is usually not the case in a hard classification.
- Figure 4.4 and Figure 4.5 show the EoC as a hard classification of the medium resolution fAPAR MERIS imagery. For Figure 4.4 the dominant class per pixel was taken. For Figure 4.5 only the pixels with more than 30% agriculture were classified.

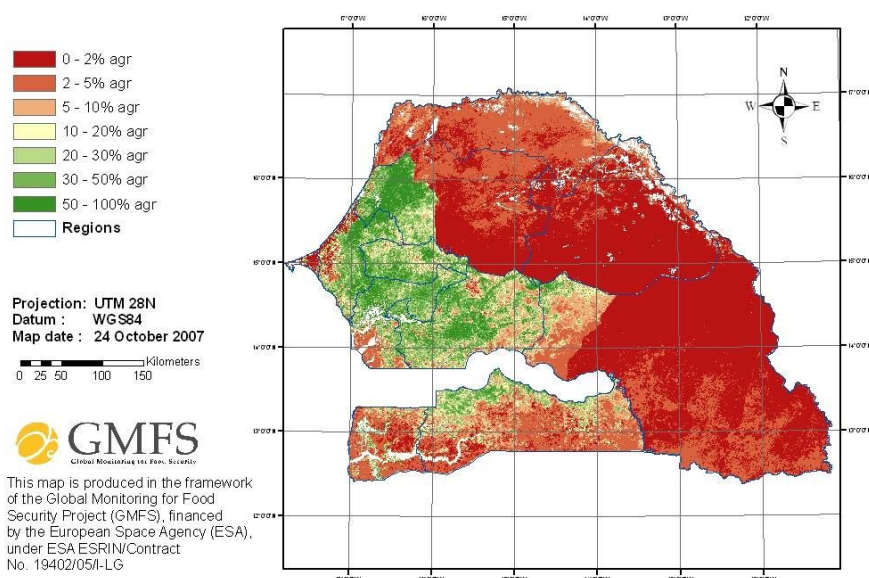


Figure 4.3: Estimated Are Fraction Image for the cultivated area in Senegal for the growing season of 2007. Zones with missing/ bad values (due to clouds etc.) are white.

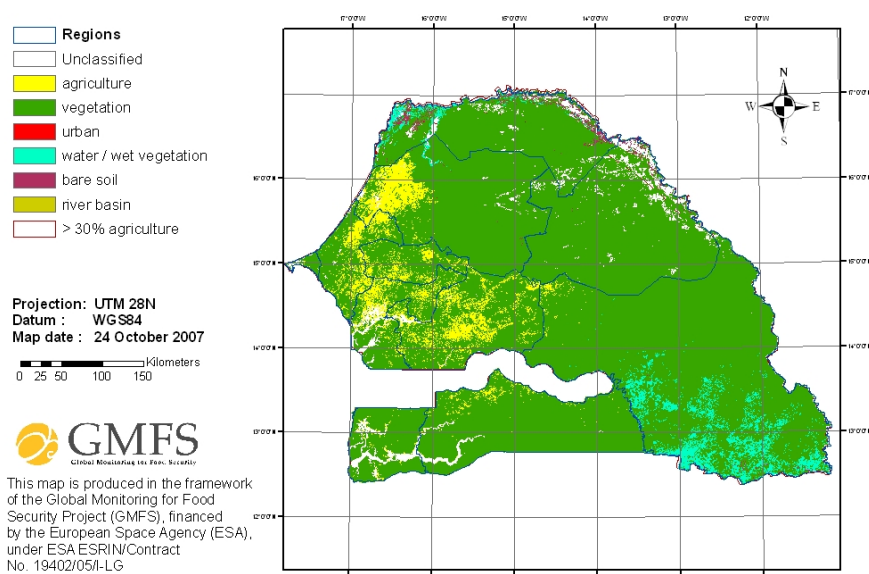


Figure 4.4: Estimated Extent of Cultivation in Senegal for the growing season of 2007.

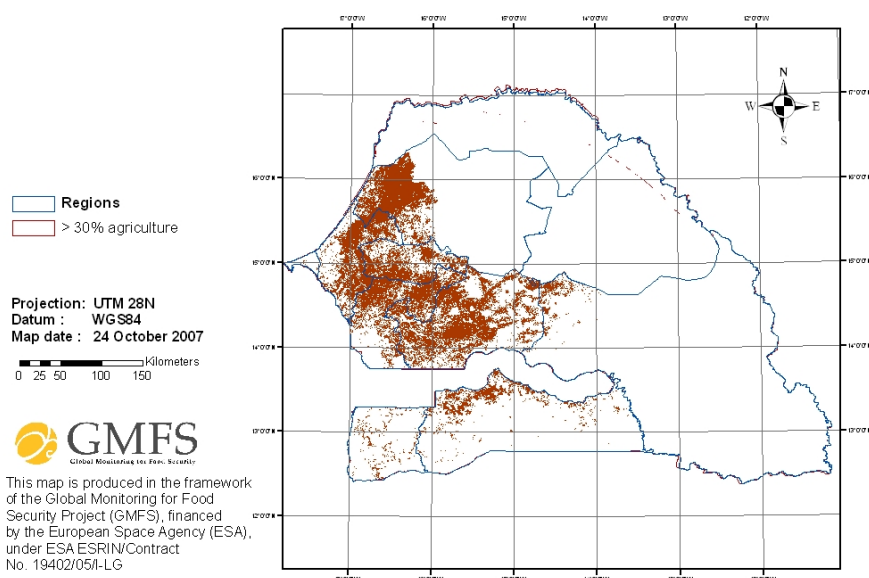


Figure 4.5: Estimated Extent of Cultivation in Senegal for the growing season of 2007. Zones with less than 30% agriculture are white.

The abrupt transitions in Area Fractions on Figure 4.3 correspond to the boundaries of the agro-ecological zones for which a different neural network was trained. This artefact is inherent to the method.

On the EoC in Figure 4.4, a vast areas of Tambacounda is classified as water/wetland. This area has a lot of forest. In the neural network from the Silvo-Pastoral zone, which was used for the sub-pixel classification of this regions, forest was not represented by a class and thus replaced by the class with the most similar spectrum.

The AFI product derived from the MERIS MR is meant to indicate the distribution of the agriculture. The resolution is too coarse to provide real area estimates. Though, a comparison of the regional area estimates derived from the AFI with official statistics is useful for the evaluation of the product. The estimated values should follow the same trends as the reference data.

In Table 4.1 the agricultural area per administrative region for 2007 as estimated by the sub-pixel classification method is compared with the DAPS statistics (2007) and the sub-pixel estimation for the previous season (2006).

From Table 4.1 it appears that the area estimation on country level is quite accurate. On the regional level, the major part follows the trend of the statistics. Though there are some deviations. The largest difference is for Louga. The network correctly recognises the location of the agriculture, but tends to give too high values. Probably it recognises part of the surrounding vegetation also as agriculture. Other overestimations occur for Saint-Louis, Fatick and Ziguinchor. These regions have a river valley. The river banks are confused with agriculture. Tambacounda and Kolda are largely underestimated. For this two regions no neural network was available and therefore the network of and therefore the network of another zone was selected that represented best there agro-ecological characteristics. The difference in vegetation and crop types and the different progress of the growing season may explain the difficulties to extrapolate a neural network from the north to the south of the country.

Table 4.1: Agricultural area estimations (ha) per administrative region.

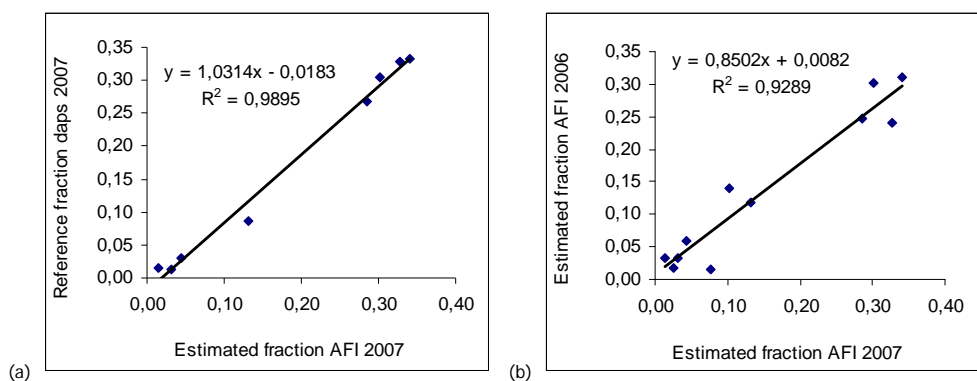
Administrative region	AFI 2007	DAPS statistics 2007	AFI 2006
Dakar	2383	1611	3263
Diourbel	167140	162928	152721
Fatick	226232	212750	195964
Kaolack	465928	470542	467120
Kolda*	214390	257897	296088
Louga	333025	217645	297791
Matam	41058	43629	97403
Saint-Louis	60039	23087	63517
Tambacounda*	150149	183642	100349
Thies	218453	218816	160093
Ziguinchor*	56963	39060	11941
	1935759	1831607	1846250

(\* no reference data was available to train a neural network for this region. A network was selected that represented best their agro-ecological characteristics.)

In Figure 4.6 the fraction of agriculture per region as estimated for 2007 is compared with the fraction of (a) agriculture derived from the DAPS statistics and (b) the estimates of the previous season (2006). In the first scatterplot there is one prominent outliers, which corresponds to Louga. Besides this, the regression implies a good correspondence between the estimated and reference fractions.

From the second scatterplot it can be concluded that the estimates of 2007 and 2006, calculated by the same method, are quite consistent.

Figure 4.6: Fraction of agriculture per administrative region estimated for 2007 compared with (a) DAPS statistics and (b) estimates 2006.



## Recommendations

The accuracy of the EoC product can be improved if a separate network is developed for the Oriental and Casamance agro-ecological zone. This requires at least a few SPOT acquisitions in these regions, and preferably field work data.

There are two conditions to allow crop specific classification. First, at least two acquisitions with a sufficient time interval should be available. Second, the crop types to be differentiated should develop significantly different throughout the season.

## ANNEX IV: CALIBRATION FIELD SURVEY (IN FRENCH)

### Objectifs de la mission.

Cette mission avait **deux objectifs** :

1. Tenir une **réunion** avec les principaux acteurs de la prévision des rendements au Sénégal afin d'établir un état des lieux de l'état de l'avancement de la prévision 2007 et de répondre à des questions d'ordre technique concernant la prévision.
2. Collecter des informations sur l'occupation du sol (cultures et non-cultures) au cours d'une **campagne de terrain** de 10 jours, pour aider à la classification des images SPOT 2007.

### Compte-rendu de la réunion du 04/09/07 sur la « Prévision des rendements ».

Cette réunion rassemblait les principaux **intervenants** chargés de la prévision des rendements au Sénégal en 2007, à savoir :

- M Gora BEYE, du CSE
- M Ousmane DIAGNE, de la DAPS
- Mme Amy SAL, de la DMN
- M Antoine DENIS, de l'ULg.

#### Amy SAL :

- Elle avait en sa possession la grande majorité des données météorologiques journalières et décennales, jusqu'à la troisième décennie d'août, nécessaires à la prévision des rendements, mis à part quelques stations manquantes qu'elle espérait obtenir incessamment.
- Elle devait encore convertir le fichier météo Excel en format « .CSV » et produire les données relatives au cycle de végétation dans AgroMet Shell.

#### Gora BEYE :

- Les images NDVI 2007 n'étaient pas encore en sa possession.
- Il devait transmettre les données découlant des images NDVI utiles à la prévision des rendements à Ousmane Diagne pour le 17 septembre 2007.

#### Ousmane DIAGNE :

- Il attendait les données provenant de Gora BEYE et Amy SAL pour réaliser la première prévision.

La **conclusion** de la réunion fut que la première prévision des rendements pourrait être réalisée par Ousmane DIAGNE à partir du 18 septembre 2007 au plus tôt, une fois que celui-ci aurait reçu les données de Gora et Amy. Aucune difficulté ne fut soulevée.

### Déroulement de l'enquête de terrain GPS menée par le CSE et l'ULg.

La campagne de terrain s'est déroulée du **04 au 13 septembre 2007**.

La **méthodologie** suivie fut celle proposée par Josefien Delrue dans ses documents intitulés « Campagne de terrain 2007.doc » et « GPS.doc ».

Cependant, quelques **modifications** y ont été apportées :

- **L'intervalle de temps** entre l'enregistrement de deux points GPS successifs fut de 1 seconde plutôt que 5 secondes.
- Certaines **classes d'occupation du sol ont été ajoutées** dans la table ACCESS par rapport à la table proposée dans le document « Campagne de terrain 2007.doc ». La table

utilisée pendant la campagne est présentée à la figure 1 ci-dessous. La classe « Canne à sucre » devrait encore être ajoutée.

CLASSES : Table	
Code	Description
▶	Fin
A	Arachide
AC	Autre Culture
AQV	Aquatic Vegetation
AV	Autre Vegetation
B	Beref
Bi	Bissap
CM	Culture Maraichere
E	Eau
EAI	Eau marAls
EI	Eau rlvire
EM	Eeau Marre
F	Foret
HR	Habitation Rurale
HU	Habitation Urbaine
J	Jachère
Ma	Mais
Mi	Mil
Mn	Manioc
N	Niébé
P	Prairie herbe courte
Pa	Pastèque
PI	Plantation
R	Riz
S	Sorgho
Sao	Steppe ArbOrée
Sau	Steppe ArbUstive
SN	Sol Nu
Ver	Verger
WL	Wooded Land

Figure 2: classes d'occupation du sol utilisées dans la base ACCESS.

- Certaines **zones difficilement photointerpretables** furent identifiées et les coordonnées des points correspondants enregistrées dans un GPS. Au cours de la campagne, nous avons tenté de « naviguer » vers ces points afin de connaître l'occupation du sol réelle de ces points. Cette approche ne fut suivie que pour quelques points seulement. La principale raison est que nombre de ces points étaient difficilement accessible sur le terrain (risque d'embourbement important en dehors des pistes, surtout au cours de la saison des pluies. Nous sommes d'ailleurs restés immobilisés 4h suite à un embourbement).

Les **données récoltées** sont :

- **« GPS Tracks »** : ensemble de points GPS enregistrés, chaque seconde, au cours de nos déplacements dans les régions d'intérêts. Les départements visités sont repris ci-dessous et illustrés à la figure 2.

• Podor	• Tivaouane
• Dagana	• Mback
• Saint-Louis	• Diourbel
• Louga	• Bambey
• Linguere	• Thies
• Kebemere	• Gossas
• Kaffrine	

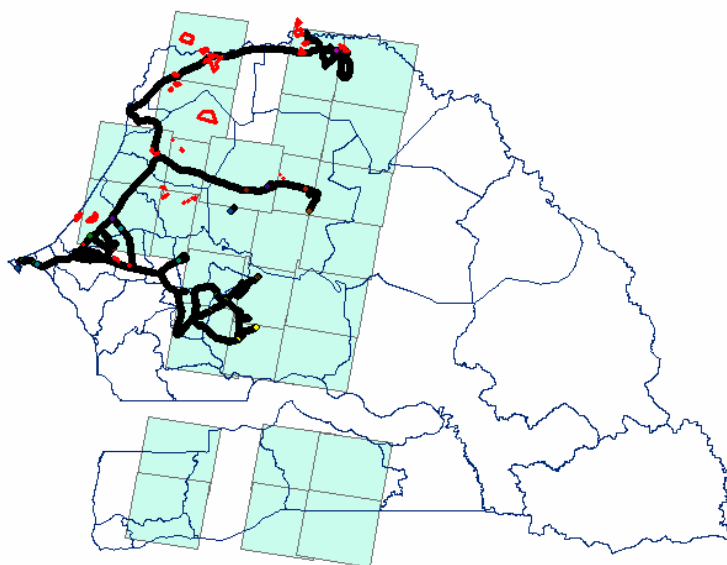


Figure 2 : en noir, les tracks prises lors de la campagne de terrain 2007, en rouge, les polygones photo interprétés par Gora Beye sur base des images SPOT 2007, les lignes bleues foncées sont les départements et les carrés bleus clairs représentent la localisation des images SPOT2007 commandées.

Les départements du Sud (Velingra, Kolda, Sedhiou, Bigona, Ziguinchor,) n'ont pas été visités par manque de temps. Certaines régions (route entre Podor et Linguere par exemple) n'étaient pas accessibles à cette période (saison des pluies), les pistes étant impraticables.

- **2 500 photos numériques** des occupations du sol, prises à gauche et à droite du véhicule servant à nos déplacements pendant l'enregistrement des « GPS tracks ».
- **Fichiers ACCESS** décrivant l'occupation du sol observée à droite et à gauche du véhicule pendant l'enregistrement des « GPS tracks ».
- **Un fichier « shapefile polygones »** de zones photointerprétés par Gora BEYE et Antoine DENIS à partir des images SPOT 2007 reprenant des éléments particuliers du paysage dont la photointerpretation demande une certaine expertise. Une soixantaine de polygones ont été photointerprétés, dont la moitié sont caractérisés par un intervalle de confiance de la photointerpretation (basé sur le degré de certitude de Gora BEYE).



L'ensemble des données récoltées ainsi que quelques métadonnées ont été transmises à Josefien Delrue les 21 et 24 septembre 2007.

## **Proposition d'une autre méthodologie de la campagne de terrain : utilisation du logiciel GPS « ArcPad ».**

Une autre méthodologie que celle proposée par Josefien Delrue a été mise au point et testée pendant le premier jour de la campagne. Il s'agit non plus d'utiliser simultanément un GPS pour l'enregistrement des « tracks » d'une part et un fichier Access sur un ordinateur pour la description de l'occupation du sol d'autre part, mais de n'utiliser que le GPS qui peut combiner ces deux opérations. Le logiciel ArcPad, installé sur le GPS, fonctionne comme un programme SIG simplifié et permet d'enregistrer des points GPS (et non des tracks) dans un shapefile et d'éditer la table d'attribut de ce shapefile lors de l'enregistrement des points. La table d'attribut du shapefile ayant été préalablement construite avec des menus déroulants, le temps d'encodage est assez court (de l'ordre de quelques secondes pour enregistrer un point et éditer les champs « gauche » et « droite » décrivant l'occupation du sol). Cependant cette méthode fut abandonnée car ce temps d'encodage est bien supérieur au temps d'encodage très réduit dans Access (1 seconde pour un point). De plus, ce temps est parfois trop long, ne permettant pas l'encodage de toutes les variations d'occupation du sol pouvant avoir lieu pendant l'encodage d'un point, même en roulant à une vitesse réduite (30 km/h). Néanmoins, cette méthode, éventuellement adaptée, pourrait être utilisée dans le futur car elle présente les deux grands avantages suivants :

- **Gain de temps**, car aucun post-traitement n'est nécessaire : toute l'information (localisation et occupation du sol) sont contenues dans le shapefile créé dans ArcPad. Il n'y a plus besoin de faire les liens à posteriori entre le fichier Access et les tracks enregistrées.
- **Gain de précision**, car l'occupation du sol est directement reliée à une position (le point GPS), contrairement à la méthode utilisée actuellement pour laquelle le temps du GPS et du fichier Access (qui doivent être synchronisés) sont utilisés pour faire le lien entre l'occupation du sol et le point GPS, ce qui entraîne une certaine imprécision, le temps du fichier Access ne correspondant pas parfaitement à celui des points du GPS.

## ANNEX V: YIELD FORECASTS FOR SENEGAL, SEASON 2007

### Introduction

Ce rapport correspond au deliverable de la tâche WP3233 AMM Forecasting pour la saison 2007-2008. Le but est de prédire les rendements des cultures au niveau national en se basant sur un modèle agrométéorologique et sur des images satellitaires. La prédiction des rendements a été réalisée pour 3 cultures principales : le mil, l'arachide et le sorgho. Les deux prévisions sont produites sur base des données disponibles à la première décade de septembre et à la troisième décade d'octobre 2007.

La prévision des rendements se fait en calculant le rendement au sein des départements situés dans le bassin arachidier puis en les agrégeant au niveau national. Le bassin arachidier est la principale région productrice en mil et en arachide avec respectivement 85 % et 74% de la production nationale) et assure la moitié de la production nationale en sorgho (54 %)<sup>1</sup>. L'estimation des rendements au niveau départemental est réalisée en étudiant la corrélation entre les données historiques de rendement et une série de facteurs agrométéorologiques (précipitations, état phénologique simulé par un MAM et le NDVI).

Le set de calibration comprend :

- Les données historiques décennales des précipitations (fournies par la DMN)
- Les données historiques agricoles (fournies par la DAPS et le CSE)
- Les images NOAA GAC du Sénégal (fournie par la FAO)

Par rapport à l'année précédente, la culture d'arachide a été rajoutée suite à la demande des partenaires sénégalais. La mise au point du modèle a été effectuée par Kouadio L. (2007) ([http://www.hoefsloot.com/Downloads/TFE\\_Louis-Amani.pdf](http://www.hoefsloot.com/Downloads/TFE_Louis-Amani.pdf)). Le maïs et le niébé n'ont pas été repris dans cette campagne faute de données fiables.

La méthodologie employée pour la construction du modèle de prévision a été décrite en détail dans le deliverable précédent. Une légère amélioration a cependant été apportée en ce sens que les variables explicatives potentielles de type météorologique ne sont plus considérées décade par décade mais par stade phénologique. Cette nouvelle façon de procéder permet de donner une valeur agronomique à ces variables explicatives, ce qui doit en principe rendre les modèles retenus plus robustes.

Les prévisions de rendement sont réalisées à deux moments avec les données disponibles : à la première décade de septembre et à la troisième décade d'octobre 2007 comme demandé par les statistiques agricoles. La première prévision est limitée au mil tandis que la seconde prévision, beaucoup plus importante pour les Services Statistiques Agricoles est calculée pour le mil, le sorgho et l'arachide.

La période historique pour l'analyse s'étale sur 19 années en 1986 et 2004 inclus. Les années 2005 et 2006 ont été rejetées en raison de la qualité douteuse des données statistiques à cette période.

---

<sup>1</sup> Moyenne des données de la DAPS de 1986 à 2005

## Prévisions des rendements

### Au niveau départemental

Pour chaque culture et pour chaque département, un modèle de prévision de rendement est construit. Seuls les départements pour lesquels le nombre de données historiques de rendement est supérieur à 10 sont inclus dans l'analyse. Le set de calibration pour chaque modèle contient les données disponibles à la première décennie de septembre 2007 pour la première prévision et à la troisième décennie d'octobre 2007 pour la seconde prévision. Les modèles sont élaborés dans Statistica 7.1 par régression linéaire multiple ascendante 'pas à pas'. La régression pas à pas se compose des étapes suivantes (1) identification d'un modèle initial, (2) par itération, de nouvelles variables prédictives sont ajoutées pas à pas au modèle (3) fin de l'itération lorsque les variables indépendantes restantes n'améliorent pas le modèle ou quand un nombre maximum spécifié d'itérations est atteint<sup>2</sup>. Pour finir, les variables les plus explicatives (de 2 à 4 variables en fonction du modèle) sont introduites dans relation linéaire avec le rendement (équation 1)

$$Y_{dep} = a + \sum_{i=1}^n b_i * x_i \quad (1)$$

avec,  $Y_{dep}$ , le rendement prédit au niveau départemental (kg/ha)  
a, le terme indépendant  
 $b_i$ , le coefficient de régression pour la variable  $x_i$   
 $x_i$ , la variable explicative  $i$   
n, le nombre de variables explicatives (varie de 2 à 4)

En moyenne, pour chaque département et pour chaque culture, 4 modèles sont sélectionnés et comparés par validation croisée. Le modèle présentant le  $R^2_{cv}$  le plus élevé (coefficient de corrélation en validation croisée) est retenu. Seuls les modèles pour lesquels  $R^2_{cv}$  est supérieur à 0.2 sont pris en considération.

### Au niveau national

Pour agréger le rendement prédit au niveau national, la méthode proposée par Tychon et Rosillon dans le livrable précédent a été conservée.

Le rendement national est calculé sur base de tous les départements pour lesquels  $R^2_{cv}$  est supérieur à 0.2 (équation 2) pour chaque année, de 1986 à 2004.  $R^2$  et RMSE sont calculés par comparaison avec les données de rendement de la DAPS.

$$Y_{nat} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n Y_{dep,i} * S_i \right)}{S} * \frac{1}{a_n} \quad (2)$$

Avec,  $Y_{nat}$ , le rendement prédit au niveau national (kg/ha)  
 $Y_{dep,i}$ , le rendement prédit pour le département  $i$  (kg/ha)  
 $S_i$ , la surface estimée pour le département  $i$  pour une culture donnée  
S, la surface nationale prévue pour une culture donnée  
 $n$ , le nombre de départements du bassin arachidier agrégés au niveau national  
 $a_n$  : part de la production nationale dans les  $n$  départements

Ensuite, pour la seconde prévision (octobre 2007), on sélectionne parmi la liste des départements ceux qui sont les mieux corrélés au rendement national. Alors que l'approche s'effectuait par essai-erreur l'année dernière, cette fois-ci, nous avons utilisé les outils de régression linéaire dans

<sup>2</sup> Sources : Statsoft help: <http://www.statsoft.com/textbook/stgrm.html>

Statistica pour renforcer notre approche. Pour la prévision de la première décade de septembre 2007, étant donné que l'on avait fait une première prévision à cette date l'année dernière, on a conservé les départements de l'année 2006, à savoir Gossas, Kaffrine, Kebemer, Louga, Mbour et Tambacounda.

## Résultats des prévisions

Rem : Pour le mil et le sorgho, les valeurs de rendements nationaux de référence sont celles de la FAO provenant de l'ancienne database FAO car, avant la saison 1996/1997, les données des rendements en mil et en sorgho fournies par la DAPS étaient agrégées en une seule et unique valeur.

### Prévision des rendements en mil

#### Au niveau départemental

Deux prévisions des rendements ont été effectuées pour le mil. La première à la fin de la première décade de septembre la seconde après la troisième décade d'octobre.

#### Prévisions de rendement du Mil au 10 septembre

Le tableau 1 reprend les rendements en mil prévus pour les départements retenus dans le modèle national.

Comme l'année dernière, les différences de comportement entre département sont importantes. Certains départements voient leurs rendements augmenter alors que d'autres sont en très forte baisse. Les rendements très élevés dans les départements de Gossas et Kaffrine sont dus aux excellentes précipitations de la fin du mois de juillet. Ils sont dus à une augmentation de la végétation entre la fin juin et la fin juillet dans le département de Louga, zones où les données de précipitations n'ont pas pu être prises en considération dans le modèle parce que indisponibles pendant un trop grand nombre d'années. Les faibles rendements prévus pour Kébémér sont liés au démarrage tardif de la végétation observé au niveau du NDVI mais aussi via les précipitations cumulées en début de saison culturale particulièrement basses dans ce département.

#### Equations de prévisions des départements retenus :

Gossas :  $Yest = -99.76 + 5.832 \cdot pval - 1.4 \cdot P23 + 2.03 \cdot P21 + 66.75 \cdot sdat - 72.46 \cdot cr1a$

Kaffrine :  $Yest = 506.02 + 0.253 \cdot P21 + 7.176 \cdot ETAr - 0.244 \cdot WEXf + 1.69 \cdot WEXv - 5.792 \cdot WHCI$

Kebemer :  $Yest = -1263.2 + 2432 \cdot NDVI25 + 9.5 \cdot INDXNormal + 5 \cdot WEXv + 29.6 \cdot P18 - 564.5 \cdot NDVI16:20$

Louga :  $Yest = 164.9 - 2341.8 \cdot NDVI18 + 1782.2 \cdot NDVI21$

Mbour :  $Yest = 307.26 + 4.886 \cdot ETAr + 3.219 \cdot WEXr - 7.094 \cdot P19 + 1.291 \cdot WEXf - 8.81 \cdot Année$

Tambacounda :  $Yest = -236.43 + 1.117 \cdot WEXv + 7.514 \cdot WEXi + 37.178 \cdot peak - 3.744 \cdot P17 + 0.36 \cdot P16:24$

**Tableau 1 : Rendement départemental en mil au 10 septembre 2007**

Départements	R <sup>2</sup> cv	Rendement prédit (kg/ha)	Rendement moyen observé 86-05 (kg/ha)	Différence (%)
Gossas	0.66	940	544	72.8
Kaffrine	0.36	1083	784	38.1
Kebemer	0.41	0	262	-100.0
Louga	0.46	312	194	60.8

Mbour	0.44	480	513	-6.4
Tamba	0.22	618	830	-25.5

Prévisions de rendements du Mil au 31 Octobre

Nombre de départements disponibles : 15

**Tableau 2 : Départements retenus pour le niveau national, corrélation croisée du modèle et variables prédictives retenues.**

Département	R <sup>2</sup> cv	Variables prédictives
Foundiougne	0.26	ETAt, Cumm
Gossas	0.44	Cr1a, Pval
Mbour	0.51	ETAv, Pluvio_L
Thiès	0.66	ETAr, Pluvio_D, Pluvio_MS, Sdat
Diourbel	0.2	ETAt Pluvio_I

Equations de prévisions des départements retenus :

Diourbel : Yest = -463.74 + 4.25\*ETAt – 2.16\*Pluvio\_I

Foundiougne: Yest = 1374.62 – 5.2\*ETAt + 12.67\*Cumm

MBour : Yest = -142.36 + 13.76\*ETAv + 1.39\*Pluvio\_L

Gossas : Yest = 680.24 – 51.6\*Cr1a + 7.23\*Pval

Thiès : Yest = 1486 + 41.33\*ETAr – 1.13\*Pluvio\_D – 1.46\*Pluvio\_MS – 130.83\*Sdat

**Tableau 3 : Rendement départemental en mil au 31 octobre 2007**

Département	Rendement estimé (kg/ha)	Rendement moyen observé 1986-2004 (kg/ha)	Différence (%)	Superficie moyenne emblavée DAPS 1986-2004 (%)
Diourbel	590	505	17	4
Foundiougne	942	805	17	4
Gossas	557	542	3	5
Mbour	435	506	-14	5
Thiès	77	453	-83	3

Pour la seconde estimation, les prévisions sont inférieures. Les conditions pluviométriques se sont dégradées pendant la seconde partie de la campagne agricole. On constate que globalement les réductions de rendement dans les départements sont supérieures aux augmentations ce qui laisse supposer un rendement national inférieur à la normale. Il convient cependant d'attirer l'attention du lecteur sur le fait que le modèle est établi pour fonctionner correctement à l'échelle nationale et que les valeurs données au niveau des départements sont données à titre indicatif seulement.

#### Au niveau national

Au 10 septembre, la prévision calculée sur base des superficies en mil de l'année 2004 des 6 départements retenus. En effet, les années 2005 et 2006 ne sont pas suffisamment fiables pour être prises en considération. Le rendement en mil au niveau national s'élève à **759 kg/ha**.

Pour l'estimation du rendement national à la troisième décade d'octobre, nous utilisons les cinq départements du tableau 3. Les superficies départementales sont également les superficies de la dernière année pour lesquelles les valeurs des superficies sont fiables d'après la DAPS. Le rendement estimé à la fin octobre 2007 pour le mil est de **574 kg/ha**. Comparé à la moyenne des 5 dernières années, 649 kg/ha, cela représente une baisse de près de 12%, ce qui est loin d'être négligeable.

La différence entre les deux dates de prévisions est importante, 185 kg/ha. Elle s'explique par la difficulté de faire des prévisions en début de saison, alors que plus de la moitié du cycle cultural reste encore à accomplir. Dans le cas présent, la seconde partie du cycle a été très défavorable à la culture de mil. Cette seconde partie du cycle ne peut pas être prise en compte par le modèle établi au 10 septembre qui suppose une situation normale après cette date pour établir une prévision de rendement. Cette année cela a clairement conduit à une surestimation des rendements.

### Prévision des rendements en Sorgho

#### Au niveau départemental

Seuls 11 départements ont pu être pris en compte en raison de l'absence de données statistiques sur une période suffisamment longue pour un bon nombre de départements. En outre, seuls les départements de Bambey, Kafrine, Mbour et Tambacounda présentent un  $R^2_{cv}$  supérieur à 0.2. (cf. tableau 4.) montrant par là la très faible corrélation entre nos modèles départementaux et les rendements mesurés par les statistiques agricoles.

**Tableau 4: Départements retenus pour le niveau national, corrélation croisée du modèle et variables prédictives retenues.**

Département	$R^2_{cv}$	Variables prédictives
Bambey	0.34	WEXf, Pluvio_I, Cumm
Kafrine	0.33	WEXi, Pluvio_MS, Cumm, Année

Mbour	0.46	Pluvio_I, Pluvio_D, Vert, Peak
Tambacounda	0.3	WEXt, Sval, Année

Equations de prévisions des départements retenus :

Bambey :  $Yest = 129.34 + 1.64 * WEXf - 0.14 * Pluvio\_I + 18.79 * Cumm$

Kaffrine :  $Yest = 58714.7 + 26.75 * WEXi - 0.65 * Pluvio\_MS + 24.67 * Cumm - 29.36 * Année$

MBour :  $Yest = 3337.28 - 0.56 * Pluvio\_I + 1.08 * Pluvio\_D + 10.57 * Vert - 133.35 * Peak$

Tambacounda :  $Yest = -20839.7 + 0.7 * WEXt + 17.2 * Sval + 10.3 * Année$

Prévisions de rendements de Sorgho au 31 Octobre

**Tableau 5 : rendement départemental en sorgho au 31 octobre 2007**

Département	Rendement estimé (kg/ha)	Rendement moyen observé 1986-2004 (kg/ha)	Différence (%)	Superficie moyenne emblavée DAPS 1986-2004 (%)
Bambey	683	593	15	1
Kaffrine	1499	870	54	24
Mbour	576	545	6	4
Tambacounda	1032	969	7	17

Pour l'ensemble des départements considérés, une hausse de rendements est attendue pour fin octobre 2007, plus particulièrement au niveau du département de Kaffrine (54%). Dans ce département l'indice de satisfaction en eau est bon durant tout le cycle et surtout durant la phase de floraison et fructification, ce qui expliquerait la tendance à la hausse du rendement puisque cette phase est une phase sensible de la croissance du sorgho.

Cependant, la prise en compte de ces quatre départements pour la prévision de la production nationale ne fournit pas une bonne estimation :  $R^2 = 0.04$ , RMSE = 57 kg/ha. Nous ne pouvons donc pas fournir une estimation du rendement national fiable pour la fin octobre 2007.

### Prévision des rendements en arachide

Nombre de départements disponibles : 19

Le tableau ci-après donne les départements pour lesquels le  $R^2_{cv}$  est supérieur à 0.2. Au total nous avons 16 départements sur 19.

**Tableau 6 : Départements retenus pour le niveau national, corrélation croisée du modèle et variables prédictives retenues.**

Département	$R^2_{cv}$	Variables prédictives
Bakel	0.48	WEXr, WDEFv, NDVI_D, Pluvio_D
Foundiougne	0.24	ETAr, NDVI_D
Tambacounda	0.51	Pval, Sdat

Vélingara	0.38	NDVI_L, Pluvio_I, Pluvio_D, Pluvio_L
Bambey	0.67	Peak, Pval
Diourbel	0.55	CR1a, NDVI_D
Fatick	0.54	WEXv, Pluvio_I, Pval
Gossas	0.2	NDVI_D, Pluvio_L
Kaffrine	0.79	IndexLatest, Pluvio_D, Vert
Kaolack	0.3	IndexNormal, WEXv, NDVI_MS, Vert
Kébémér	0.43	WEXv, CR1a, Vert
Mbacké	0.48	Pluvio_MS, Cumm
Mbour	0.47	IndxNormal, Pluvio_L
Nioro du rip	0.32	WEXv, WEXt, Pluvio_MS, Sval
Thiès	0.74	WEXv, WEXf, NDVI_MS, Pluvio_L
Tivaouane	0.69	WDEff, Pluvio_D, Cumm



Le rendement national peut être calculé sur base de tous les départements pour lesquels  $R^2_{cv}$  est supérieur à 0.2 (équation 2) pour chaque année, de 1986 à 2004.  $R^2$  et RMSE sont calculés par comparaison avec les données de rendement de la DAPS.

Cependant, le tableau 7 montre que pour une meilleure prévision nationale à la fin octobre, il est préférable de ne pas considérer l'ensemble des départements mais seulement un certain nombre d'entre eux. Dans le cas présent, la solution 3 du tableau 1 semble la mieux indiquée.

**Tableau 7: sélection des départements pour le calcul du rendement au niveau national au 31.10.2007**

	DEPARTEMENTS	$R^2$	RMSE (kg/ha)
1	Bakel, Tambacounda, Vélingara, Bambey, Diourbel, Fatick, Gossas, Kaffrine, Kaolack, Kébémér, Mbacké, Mbour, Nioro, Thiès, Tivaouane	0.44	43
2	Fatick, Kaffrine, Kébémér, Mbacké, Tivaouane	0.28	72
3	Tambacounda, Bambey, Fatick, Gossas, Kébémér, Mbacké, Mbour, Tivaouane	0.66	34

Equations de prévisions des départements sélectionnés pour l'estimation à l'échelle nationale

Mbacké :  $Yest = -767.97 + 1.94 * Pluvio\_MS + 47.69 * Cumm$

Fatick :  $Yest = -2429.16 - 6.47 * WEXv - 2.73 * Pluvio\_I + 31.61 * Pval$

Tivaouane :  $Yest = -535.13 + 101.9 * WDEff - 2.23 * Pluvio\_D + 68.43 * Cumm$

Tambacounda :  $Yest = 309.97 + 12 * Pval - 64.72 * Sdat$

Kébémér :  $Yest = 689.35 - 7.11 * WEXv - 61.95 * CR1a + 22.74 * Vert$

Gossas :  $Yest = -581.18 + 1547.74 * NDVI\_D + 3.16 * Pluvio\_L$

Mbour :  $Yest = -1067.31 + 14.67 * IndxNormal + 1.74 * Pluvio\_L$

Bambey :  $Yest = 140.33 - 69.88 * Peak + 20.18 * Pval$

Prévisions des rendements d'arachide au 31 Octobre

**Tableau 8: rendement départemental en arachide au 31 octobre 2007**

Département	Rendement estimé (kg/ha)	Rendement moyen DAPS 1986-2004 (kg/ha)	Différence (%)	Superficie moyenne emblavée DAPS 1986-2004 (%)
Bambey	597	597	0	3
Fatick	694	692	0.4	4
Gossas	28	644	-96	5
Kébémér	501	481	4	5
Mbacké	561	559	0.4	4
Mbour	400	499	-20	3
Tambacounda	1085	1085	0	7
Tivaouane	307	547	-44	5

Les départements sélectionnés pour la prévision du rendement à l'échelle nationale représentent 36% de la superficie moyenne emblavée en arachide.

Au niveau des départements de Bambey, Fatick, Mbacké et Tambacounda, les rendements prévus pour 2007 ne diffèrent pas ou diffèrent très peu de la moyenne observée durant la période 1986-2004. Pour les départements de Tambacounda et Mbacké plus particulièrement, le rendement est fortement corrélé à Pval qui n'est autre que la valeur maximum du NDVI durant la saison agricole.

On note également une forte tendance à la baisse pour les départements de Gossas. L'une des variables les plus explicatives du rendement au niveau de Gossas est le cumul pluviométrique observé durant la phase de remplissage des gousses et de maturation. En 2007 la pluviométrie durant ces décades n'a pas été bonne, ce qui expliquerait cette chute du rendement.

Pour la prévision à l'échelle nationale, il ne se dégage aucune tendance à la hausse ou à la baisse des superficies. Pour déterminer Si (voir équation 1), nous utiliserons par conséquent la moyenne obtenue pour la période 2002 à 2004.

Le rendement national estimé pour fin octobre 2007 est de : **725 kg/ha**. Sur la période de 1986 à 2004, le rendement moyen national est d'environ 780 kg/ha.

Le rendement estimé pour fin octobre 2007 représente une baisse de 7% par rapport à ce rendement moyen.

## Discussion et Conclusions

Les prévisions pour l'année culturale 2007/2008 pour les deux cultures qui ont pu être suivies indiquent une chute de rendement tant pour la mil que pour l'arachide, respectivement -12% et -7%. Ces baisses de rendement sont à mettre sur le compte d'une pluviométrie plus réduite en fin de cycle ce qui a mené à des stress hydriques dans beaucoup de départements sénégalais. Les conditions ne sont cependant pas homogènes sur l'ensemble du territoire car il apparaît clairement des zones à très bons rendements. Cette variabilité spatiale montre la nécessité d'une analyse spécifique par départements. Une analyse globale à l'échelle nationale n'aurait probablement pas permis une telle prévision.

La prévision de la première décade de septembre annonçait une bonne saison agricole pour le mil. Cette prévision n'a pas été confirmée par la prévision d'octobre en raison d'une fin de saison particulièrement défavorable. A l'avenir, il paraît peu raisonnable de s'appuyer sur cette première prévision aussi précoce dans le cycle, tant l'incertitude sur le devenir de la campagne est grande en ce début de cycle. Une première prévision à la troisième décade de septembre est plus réaliste.

Aucune prévision n'a pu être effectuée pour le sorgho, essentiellement par manque de données météo et de statistiques agricoles. S'il est vrai que la production de sorgho est localisée dans le Sud du Sénégal et qu'il aurait fallu déplacer la zone de suivi vers le Sud, il n'en demeure pas moins vrai que la qualité des statistiques agricoles et les trous dans les données météorologiques constituent les principaux facteurs limitants de la méthodologie.

Les cultures de maïs et de niébé n'ont pas été analysées cette année par manque de temps mais aussi parce que les propositions d'amélioration émises l'année dernière, essentiellement l'amélioration du set de données d'entrée de nos modèles, n'ont pas pu être réalisées.

La prévision de rendement pour l'arachide, culture de rente stratégique pour le Sénégal, a été effectuée cette année pour la première fois. Kouadio (2007) a montré le grand potentiel de la démarche dans son Travail de fin d'étude et la méthode a été appliquée sur l'année en cours pour la prévision d'octobre. Comme c'est souvent le cas pour les cultures de rente, les statistiques agricoles sont beaucoup plus complètes que pour les céréales et cela conduit à des prévisions plus fiables.

L'apport de la télédétection est déterminant dans la méthodologie. Sur les 23 modèles départementaux utilisés pour les prévisions des rendements des trois cultures étudiées, 18 fois une information provenant de la télédétection est reprise. Une contrainte importante demeure cependant la nécessité de disposer de longues séries de données, ce qui concrètement limite nos possibilités au seul capteur NOAA. Nous avons cependant montré les possibilités de poursuivre la série avec du SPOT-VGT moyennant une équation d'ajustement linéaire.

L'approche développée a donné des résultats satisfaisants. Elle peut cependant encore être améliorée mais cela ne pourra se faire que par la prise en charge de la démarche par les partenaires sénégalais. Leur apport sera déterminant dans la fourniture des données d'entrée et des statistiques agricoles validées, en particulier pour les cultures céréalières. Leur expertise de terrain a souvent manqué dans l'élaboration des modèles et à ce niveau-là aussi, leurs interventions devraient conduire à des améliorations notables.

**Pour conclure, il faut rappeler l'extrême rigueur nécessaire à ce type d'approche. Le grand nombre de données utilisées, d'origines diverses ne permet pas d'approximation. La gestion précise de la base de données est un facteur clé à la réussite**

## ANNEX VI: PROOF OF SERVICE DELIVERY

### Bydekerke Lieven

---

**From:** Jacques André Ndione [jacques-andre.ndione@cse.sn]  
**Sent:** 07 February 2008 14:19  
**To:** Patrizio Vignaroli; Bydekerke Lieven; amynathiam@yahoo.fr; diamyfr@yahoo.fr; gora.beye@cse.sn; diagne ousmane; Bernard TYCHON  
**Cc:** Louis Amani; Denis Antoine  
**Subject:** Re: Yield forecast 2007/2008 in Senegal

Bonjour Bernard,

j'accuse réception dudit document et vous adresse mes remerciements à vous et à votre équipe.

Bonne journée et cordiales salutations,  
Jacques André

----- Original Message -----  
From: "Bernard TYCHON" <Bernard.Tychon@ulg.ac.be>  
To: "Patrizio Vignaroli" <p.vignaroli@ibimet.cnr.it>;  
<lieven.bydekerke@vito.be>; <jacques-andre.ndione@cse.sn>;  
<amynathiam@yahoo.fr>; <diamyfr@yahoo.fr>; <gora.beye@cse.sn>; "diagne ousmane" <oussoudiagne2000@yahoo.fr>  
Cc: "Louis Amani" <amanilouis@yahoo.fr>; "Denis Antoine" <Antoine.Denis@ulg.ac.be>  
Sent: Tuesday, February 05, 2008 10:42 AM  
Subject: Yield forecast 2007/2008 in Senegal

Chers collègues,

Veillez trouver dans le fichier attaché le nouveau livrable en lien avec la prévision des rendements au Sénégal. Contrairement à mes attentes il n'a pas été possible de réaliser ce livrable en temps réels. Ce livrable constitue notre dernière tâche dans GMFS.

Je serai heureux de lire vos commentaires.

Bien à vous.

Bernard

-----  
Bernard TYCHON  
Chef de Travaux  
Université de Liège  
Campus d'Arlon  
Avenue de Longwy, 185  
B-6700 Arlon  
Belgium  
Tel : ++32.63.23.08.29  
Fax : ++32.63.23.08.00  
Email : Bernard.Tychon@ulg.ac.be  
-----

## Bydekerke Lieven

**From:** Jacques André Ndione [jacques-andre.ndione@cse.sn]  
**Sent:** 17 March 2008 15:27  
**To:** Bydekerke Lieven; gora.beye@cse.sn  
**Cc:** p.vignaroli@ibimet.cnr.it  
**Subject:** Re: produit 2007 - Senegal

Bonjour Lieven,

j'accuse réception de ton mail ; je vais télécharger les autres produits et je te tiendrai au courant  
Merci infiniment.

Amitiés et à bientôt,  
Jacques André

----- Original Message -----

**From:** Bydekerke Lieven  
**To:** jacques-andre.ndione@cse.sn ; gora.beye@cse.sn  
**Cc:** p.vignaroli@ibimet.cnr.it  
**Sent:** Monday, March 17, 2008 2:02 PM  
**Subject:** GMFS: produit 2007 - Senegal

Bonjour Gora et Jacques-andré!

C'est déjà longtemps qu'on a communiqué.

Ci-joint vous pouvez trouver le rapport complet de tous les aspect des activités GMFS. On retrouve la description comment on a généré les produits de cartographie de l'extension des surfaces agricoles et les prévisions des rendements.

Les produit memes se retrouvent sur notre site FTP a <ftp://ftp.gmfs.info/SEN/2007> (CSE / CSEGMFS)

Veuillez bien me confirmer la bonne reception du rapport et des produits par mail.

Merci!

lieven

<<GMFS\_S6\_SEN\_5.0.pdf>>

Lieven Bydekerke  
Global Monitoring for Food Security (GMFS)  
Flemish Institute for Technological Research (VITO)  
Boeretang 200  
B-2400 Mol  
BELGIUM  
tel: ++32 14 33 6825  
fax: ++32 14 32 2795  
<http://www.gmfs.info>  
<http://www.vito.be>



Tel : (+221) 338258066/67 Fax : (+221) 338258168

For the 2007 growing season it had been agreed with CSE that GMFS delivers the following services and products:

Product Name	Description	Coverage	Frequency	Code
Vegetation Productivity Indicator (VPI)	Current assessment of vegetation/crop state based on to historical time series	Senegal	10-daily	VPI_SEN_07
Dry Matter Productivity (DMP)	Non-water limited Dry matter productivity integrates meteo data and is a measure for standing biomass. Image data used is MERIS RR or FR	Senegal	10-daily / monthly	DMP_SEN_07
Crop emergence Period	Emergence of crops/vegetation, based on SAR data	Senegal	August 2007	CEP_SEN_07
Cultivated area	Cultivated area over selected, localized areas based on SAR data	Local	December 2007	CA_SEN_07
Extent of cultivation	Extent of the cultivated areas at country level, based on SAR and optical data.	Senegal	December 2007	EoC_SEN_07
Crop Yield	Estimated and forecasted crop yield by main crop type at country level	Senegal	Forecast: 2 to 3 times from August 2007	CY_SEN_07

Product Name	Description	Coverage	Frequency	Code
Vegetation Productivity Indicator (VPI)	Current assessment of vegetation/crop state based on to historical time series	Senegal	10-daily	VPI_SEN_07
Dry Matter Productivity (DMP)	Non-water limited Dry matter productivity integrates meteo data and is a measure for standing biomass. Image data used is MERIS RR or FR	Senegal	10-daily / monthly	DMP_SEN_07
Crop emergence period	Emergence of crops/vegetation, based on SAR data	Senegal	August 2007	CEP_SEN_07
Extent of cultivation	Extent of the cultivated areas at country level, based on SAR and optical data.	Senegal	December 2007	EoC_SEN_07
Agricultural Productivity	Qualitative assessment of potential productivity in the cultivated areas (High – low productivity)	Senegal	December 2007	AP_SEN_07
Crop Yield	Estimated and forecasted crop yield by main crop type at country level	Senegal	Forecast: 2 to 3 times from August 2007	CY_SEN_07